

Выбор основных параметров и типа линейного электродвигателя для импульсных электрохимических сейсмоисточников

Бару Ю.А., Ковган А.Н., Мельник А.К., Ткаченко В.П., ОАО завод "Потенциал", г. Харьков

"Естественный отбор", произошедший за последние 10-15 лет в области невзрывных импульсных сейсмоисточников, оставил в эксплуатации только электрохимические возбудители упругих колебаний. Это закономерно, т.к. электрическая энергия, являющаяся наиболее организованной и управляемой формой, способна обеспечить оптимальные параметры возбуждения и точность их воспроизведения.

При выборе параметров импульсных сейсмоисточников существует много спорных и не устоявшихся понятий. Этот вопрос подвергался анализу еще при создании первых невзрывных установок [1]. Активно это обсуждение происходило в 1980-х годах при подготовке так и не утвержденного ГОСТа на невзрывные сейсмоисточники. Принятое тогда решение [2] об оценке газодинамических источников по величине энергии, а электрохимических - по величине импульса силы было компромиссным, но оно не способствовало единству взглядов, как самих разработчиков сейсмоисточников, так и их взаимопониманию с геофизиками, использующими такую технику. Поэтому обсуждение вопроса о выборе параметров сейсмических возбудителей является весьма актуальным.

При анализе работы линейного импульсного электродвигателя (ЛИЭД) вне зависимости от того, является ли он электромагнитным, электрохимическим или электроиндукционным [2], процесс энергопреобразования должен рассматриваться совместно с нагрузкой. Нагрузкой является грунт, в котором происходит преобразование импульсного силового возбуждения в энергию упругой деформации, т.е. энергию сейсмических волн.

В многочисленных работах показано, что грунт обладает инерционными и упруго-вязкими свойствами. Инерционные свойства определяются суммой "присоединенной" массы грунта, массы опорной плиты и массы якоря источника. "Присоединенная" масса грунта играет преобладающую роль. Ее величина зависит от диаметра опорной плиты [3], размер которой для исключения пластических деформаций грунта должен выбираться так, чтобы удельное давление не превышало величины 0,4-0,7 МПа. Таким образом, инерционные свойства грунта, участвующего в процессе возбуждения сейсмических волн, определяются максимальным усилием, развиваемым сейсмоисточником.

В соответствии с первой системой электрохимических аналогий [4] механическая система, обладающая инерционными и упруго-вязкими свойствами, эквивалентна электрической, состоящей из последовательно соединенных индуктивности, конденсатора и активного сопротивления. Такой электрический контур является резонансной колебательной системой, которая способна преобразовывать энергию импульсного возбуждения в энергию свободных колебаний. Показано [5], что при импульсном возбуждении амплитуда свободных колебаний в электрическом контуре определяется величиной произведения $E\tau$, где E - напряжение электрического импульса, τ - его

длительность. В случае механической системы (электрохимический излучатель, установленный на грунт) это эквивалентно тому, что амплитуда возбуждаемых упругих колебаний определяется импульсом силы, развиваемым излучателем - $F\tau$, где F - величина силы воздействия.

При $\sin^2$ форме возбуждаемого силового воздействия, что характерно для ЛИЭД, питаемого от конденсаторного накопителя, импульс силы равен:

$$I = \int_0^T F_{\max} \sin^2 \omega t dt = \frac{1}{2} F_{\max} \tau = F_{\text{ср}} \tau. \quad (1)$$

Вывод о том, что амплитуда регистрируемых сейсмических колебаний пропорциональна импульсу силы, был сделан и в работе [6] путем анализа процесса возбуждения с учетом частотного спектра полезных сейсмических колебаний. Еще в начале 1980-х годов изготавливаемые Опытным заводом "Потенциал" г. Харьков (теперь ОАО завод "Потенциал") источники типа "Сейсмодин" проектировались исходя из того, что их сейсмическая эффективность определяется импульсом силы. Импульс силы характеризует, как сейсмическую эффективность источника, так и его массогабаритные параметры и, следовательно, определяет выбор транспортной базы для монтажа установок.

Имея заданную при проектировании величину импульса силы, нельзя произвольно выбрать его длительность. В грунте происходит не только формирование сейсмических волн, но и последующая их фильтрация, причем каждый слой грунта, обладая своими физико-механическими свойствами, производит фильтрацию в своем диапазоне частот. Поэтому амплитудно-частотные спектры регистрируемых на поверхности отраженных волн являются усредненными, характеризующими фильтрующие свойства всей исследуемой толщи земли.

Существенным является то, что диапазоны регистрируемых частот отраженных волн при работе различных источников, как импульсных, так и вибрационных, работающих в разных районах, мало отличаются один от другого. Они, как правило, имеют резонансный характер с максимумом в полосе частот 25-35 Гц [2], даже при взрывном возбуждении регистрируемые частоты не превышают 60 Гц [7]. Это свидетельствует о том, что частотный спектр регистрируемых колебаний формируется не столько при возбуждении сейсмических волн в области "опорная плита-грунт", сколько при их фильтрации во время прохождения толщи земли.

Воздействовать на изменение диапазона регистрируемых частот при невзрывном возбуждении практически невозможно. Влияние диаметра опорной плиты и, следовательно, величины присоединенной массы земли на частоту регистрируемых колебаний [8] существует лишь при возбуждении сейсмических волн, а при последующей фильтрации это влияние становится несущественным.

Однако, выбрав оптимальную длительность силового импульса сейсмоисточника, можно

обеспечить наиболее эффективное энергопреобразование при импульсном возбуждении, увеличив тем самым амплитуду сейсмических колебаний в диапазоне полезных частот. Действительно, при импульсном возбуждении колебательного контура максимальная величина амплитуды колебаний будет тогда, когда длительность импульса равняется половине периода свободного колебания [5]. Значит, чтобы с максимальной эффективностью возбуждать колебания в диапазоне частот, соответствующем АЧХ регистрируемых сигналов, длительность силового воздействия должна находиться в пределах 14-20 мс (в среднем 17 мс), что соответствует вышеуказанным частотам 25-35 Гц.

Изготавливаемые в настоящее время электро-механические источники (ЭМИС) "Енисей", "Геотон", "Терра", "Террадин" - имеют электромагнитные возбудители (двигатели) с длительностью воздействия порядка 5-6 мс, что соответствует частотам 80-100 Гц, которых практически нет в регистрируемом спектре полезных колебаний.

Длительность силового импульса определяется параметрами ЛНЭД и конденсаторного накопителя. По принципу действия ЛНЭД импульсного сейсмостимулятора может быть электромагнитным или электродинамическим [2]. На рис. 1 показаны магнитные системы таких ЛНЭД, применяемых в сейсмостимуляторах, изготавливаемых ОАО завод "Потенциал": круглый магнитопровод с кольцевой обмоткой статора (индуктора) для электромагнитных ЛНЭД [9] и для электродинамических ЛНЭД - цилиндрический магнитопровод с системой чередующихся полюсов, образуемых токами обмоток, расположенных в кольцевых пазах, выполненных на обращенных друг к другу концентрических поверхностях якоря и статора [10]. Выбор типа ЛНЭД в зависимости от длительности силового воздействия является основным вопросом при проектировании ЭМИС.

ЭМИС является мобильным устройством,

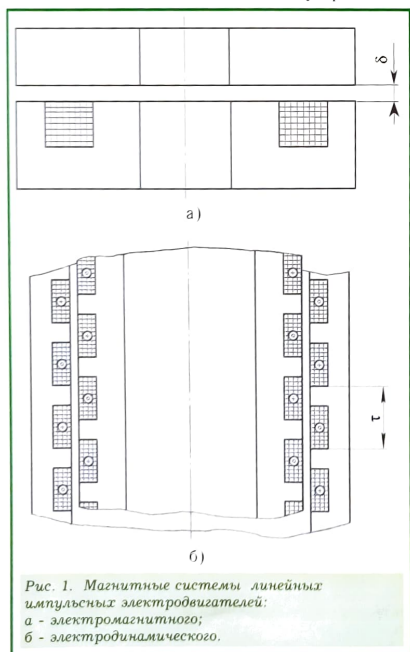


Рис. 1. Магнитные системы линейных импульсных электродвигателей:
а - электромагнитного;
б - электродинамического.

размещаемым на транспортной базе с ограниченной грузоподъемностью, поэтому при проектировании критериями выбора типа ЛНЭД являются, прежде всего, весовые характеристики оборудования источника, определяемые в основном массой конденсаторного накопителя и массой ЛНЭД. Масса остальных узлов ЭМИС: механизм подъема и фиксации излучателя с гидравлической системой, кузов, система управления - практически не зависят от принципа действия ЛНЭД.

Масса конденсаторного накопителя определяется суммой энергии, необходимой для преобразования в механическую, и изменением энергии, запасенной в магнитном поле ЛНЭД. Основная часть запасенной магнитной энергии приходится на область воздушного зазора. Поскольку зазор в электромагнитном ЛНЭД весьма мал по сравнению с воздушным зазором в электродинамическом ЛНЭД, в его магнитном поле запасается меньшая энергия. Это обеспечивает высокую эффективность преобразования энергии в электродинамическом ЛНЭД и соответственно меньшие емкость и массу конденсаторного накопителя.

Однако малая величина воздушного зазора требует для нормального функционирования ЛНЭД значительных величин массы инертного пригруза, которая, хотя и является только частью общей массы ЛНЭД, характеризует весовые характеристики всего двигателя. Исходя из этих соображений в качестве показателя, характеризующего весовые параметры ЭМИС, нами принята сумма масс конденсаторного накопителя и инертного пригруза ЛНЭД.

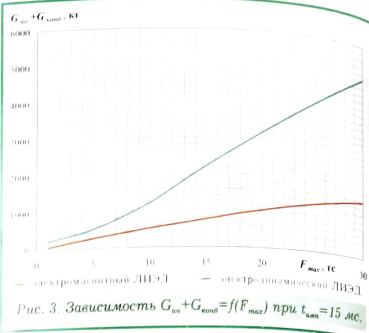
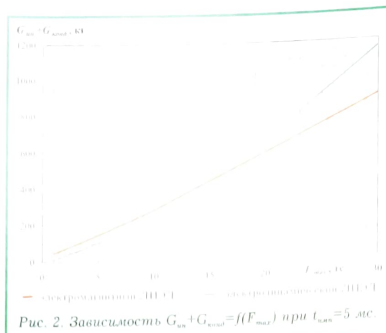
Сравнение двух типов ЛНЭД проводилось на основе методик расчета ЭМИС, разработанных нами при создании электродинамических источников "Сейсмодин" и электромагнитных "Терра" и "Террадин" и обеспечивающих, как показала многолетняя практика, достаточно высокую точность при проектировании.

Результаты сравнительного анализа приведены на рис. 2 и 3. Сравнение проводилось для сейсмостимуляторов с различными величинами силового воздействия $F_{max}=1...30$ тс.

На рис. 2 видно, что при длительности силового воздействия 5 мс до усилий $F_{max}=16...17$ тс электромагнитный ЭМИС имеет меньшие массы, чем электродинамический, причем разница тем больше, чем меньше усилие. При усилиях $F_{max}>16...17$ тс электродинамический ЭМИС предпочтительнее, уже при $F_{max}=30$ тс, сумма масс конденсаторного накопителя и инертного пригруза для электромагнитного ЭМИС на 30% выше, чем у электродинамического. Исходя из этих результатов, источники типа "Терра" с усилием от 0.3 до 3 тс, изготавливаемые ОАО завод "Потенциал", имеют электромагнитные ЛНЭД.

Иная картина при длительности силового импульса 15 мс (рис. 3). Преимущество электродинамического ЛНЭД над электромагнитным существует при любом развиваемом усилии и резко возрастает с его увеличением, т.е. для возбуждения импульса силы длительностью 15 мс целесообразно использовать электродинамический ЛНЭД во всем диапазоне усилий. Физически это вполне объяснимо, так как при большой длительности силового воздействия для функционирования электромагнитного ЛНЭД необходимо существенно увеличивать инертный пригруз или воздушный зазор, а значит, и величину запасенной электрической энергии, т.е.

“ЕНИСЕЙ” ОТ ОАО “ЕНИСЕЙГЕОФИЗИКА” ТЕОРИЯ



массу конденсаторного накопителя.

Необходимо учесть, что в силу принятых выше условных допущений и унификации исходных данных (напряжения заряда, размеров воздушного зазора и полюсного деления), полученные результаты носят оценочный характер. Точные результаты, особенно в диапазоне 15-18 тс при длительности импульса 5 мс, могут быть получены при проектировании конкретных ЭМИС.

Преимуществом электродинамического ЛИЭД является и то, что исключается эксплуатационный недостаток электромагнитного ЛИЭД, заключающийся в возможности соударения индуктора и якоря при изменяющейся твердости поверхностного слоя почвы в различных точках силового воздействия.

При выборе ЛИЭД необходимо учесть и то, что его диаметр на обычном транспортном средстве (автомобиле "Урал", "КамАЗ", "КрАЗ") не может превышать 700-750 мм, и этим ограничивается усилие одной секции электромагнитного (рис. 1а) или однокатушечного электродинамического ЛИЭД. Кратное увеличение усилия в электродинамическом ЛИЭД возможно путем выбора магнитной системы с необходимым числом полюсов, а в электромагнитном требуется расположение секций друг над другом ("этажерка") таким образом, чтобы их магнитные поля не были связаны между собой, что конструктивно достаточно сложно и менее эффективно с точки зрения массогабаритных параметров ЛИЭД.

Электродинамические возбудители (импульсные линейные двигатели) использовались в 80-90-х годах прошлого века в источниках типа "Сейсмодин", длительность импульса в которых равнялась 12 мс (С 4800/12) и 15 мс (С 7200/15).

ОАО завод "Потенциал" сегодня готов к изготовлению и поставке электродинамического источника на автомобиле "Урал-43203" (грузоподъемностью 6,8 т) с импульсом силы 4500 Н·с (максимальное усилие - 60 т и длительность воздействия 15 мс). Такой источник будет иметь сейсмическую эффективность в 2,5-3 раза большую существующих электромеханических излучателей. Удельная стоимость такого источника (отношение цены к величине импульса силы) будет в 1,5-2 раза меньше, чем у существующих установок.

Положения, высказанные в настоящей статье, не претендуют на принципиальную новизну. Они обсуждались ранее в разной форме и нами, и другими авторами. Целью опубликования статьи является активизация всестороннего обсуждения вопроса об оптимальных параметрах импульсных электромеханических сейсмоисточников для установления взаимопонимания разработчиков

техники и геофизиков-сейсморазведчиков.

Выводы

Основным параметром, характеризующим сейсмическую эффективность импульсного сейсмоисточника, является развиваемый им импульс силы.

Оптимальная длительность возбуждения (импульса силы) определяется средней частотой регистрируемых колебаний и находится в пределах 14-20 мс.

Применение электромагнитного ЛИЭД при длительности воздействия 5 мс целесообразно до амплитуд силового импульса 16-17 тс.

В импульсных сейсмоисточниках, предназначенных для создания импульсов силового воздействия с длительностью 15 мс и более, целесообразно применение электродинамических ЛИЭД независимо от амплитуды силового импульса.

Литература

1. Л.Д. Райхер. К вопросу о выборе оптимальных параметров импульсных излучателей колебаний электродинамического типа. Реферативный сборник "Вопросы методики и техники геофизических исследований", вып. 2. Сер. Региональная разведочная и промысловая геофизика, №21, М. 1970.
2. Незврывные источники сейсмических колебаний. Справочник. М. "Недра", 1992.
3. М.Б. Шнейерсон, В.В. Майоров. Наземная сейсморазведка с незврывными источниками колебаний. М. "Недра", 1980.
4. Г.А. Гамбурцев. Основы сейсморазведки. М. Гостотехиздат, 1959.
5. И.С. Гоноровский. Основы радиотехники. М. Связьиздат, 1957.
6. В.И. Роман, С.М. Геккер, И.З. Гонтовой, И.Л. Ищенко, В.Ф. Каневский. Влияние длительности воздействия на сейсмическую эффективность импульсных электродинамических источников упругих колебаний. Материалы Всесоюзной конференции "Вибросейсмические методы исследования Земли". Новосибирск, 1982.
7. А.Л. Каузов, И.Б. Крылов, В.В. Кузнецов, А.И. Луинцев, И.С. Ротфельд. Применение незврывных источников возбуждения в структурной сейсморазведке. Сборник "Проблемы вибрационной просвечивания Земли". М. "Наука", 1977.
8. М.Б. Шнейерсон. К вопросу о возможности управления частотой возбуждаемых колебаний в наземной незврывной сейсморазведке. "Приборы и системы разведочной геофизики", 01/2003.
9. Патент на полезную модель №32610 РФ 7G01V1/04 "Устройство для возбуждения сейсмических колебаний" (Ю.А. Бару, Г.С. Водаков, И.Т. Зайцев, А.К. Мельник, В.П. Ткаченко) №2003102164/20. Приоритет 20.08.2000. Опубликовано 20.09.03 Бюллетень №26.
10. Авторское свидетельство №674532 G01V1/04 "Активный узел электродинамического источника сейсмических колебаний" (Н.В. Волошин, Ю.А. Бару, А.И. Макогон) №2431014/18-25. Заявлено 20.12.76. Не публиковалось.